

DOI: 10.5846/stxb201907161500

丁咸庆, 常月, 柏菁, 项文化, 侯红波, 彭佩钦. 亚热带不同次生林地凋落物持水特性及季节变化. 生态学报, 2021, 41(8): 3190-3200.

Ding X Q, Chang Y, Bai J, Xiang W H, Hou H B, Peng P Q. Seasonal changes of litter water-holding characteristics under different secondary forests in subtropical area. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(8): 3190-3200.

亚热带不同次生林地凋落物持水特性及季节变化

丁咸庆^{1,2}, 常月², 柏菁², 项文化¹, 侯红波², 彭佩钦^{2,*}

1 中南林业科技大学生命科学与技术学院, 长沙 410004

2 中南林业科技大学环境科学与工程学院, 长沙 410004

摘要: 为了解亚热带不同演替阶段次生林地的凋落物持水特性规律, 选取湖南大山冲森林公园保存完好的三种亚热带典型次生林地, 按两月一次采集新近的凋落物并采用水浸泡法测定凋落物持水量、持水率和吸水速率, 对比分析不同森林类型凋落物持水性差异及其与凋落物碳氮凋落量的关系。结果表明: (1) 三种次生林地凋落物量及组成均表现出特有的变化规律。针叶林和常绿阔叶林凋落物量以夏季 5—9 月最大, 落叶阔叶林凋落物则以春、秋两个季节最大; (2) 三种次生林地凋落物的饱和持水量、半饱和时间以及与水亲和力均呈现显著季节性变化特征。针叶林凋落物饱和持水量在 5—7 月达到最高为 $(59.68 \pm 2.91) \text{ g/m}^2$, 常绿阔叶林凋落物饱和持水量则在 9 月达到最高, 落叶阔叶林凋落物饱和持水量在 11 月份达到最高为 $(190.60 \pm 8.81) \text{ g/m}^2$; 三种次生林凋落物的半饱和时间均以 11 月份为最低, 且落叶阔叶林凋落物半饱和时间比其他两种次生林地更低, 全年平均 $(0.62 \pm 0.12) \text{ h}$; 凋落物的水亲和力系数, 全年均以落叶阔叶林最大为 142.72 ± 26.12 ; (3) 落叶阔叶林凋落物饱和持水率全年显著高于其他两种次生林 ($P < 0.01$), 且针叶林和落叶阔叶林凋落物饱和持水率均在 11 月份达到最大值; (4) 落叶阔叶林凋落物吸水速率 A 值显著低于其他两种次生林 ($P < 0.01$), 而针叶林凋落物吸水速率系数 B 值显著高于其他两种次生林 ($P < 0.01$); (5) 凋落物饱和持水量与凋落物水亲和力和饱和持水率存在显著正相关关系, 与凋落物凋落碳氮总量同样存在显著正相关关系; 凋落物饱和持水率与凋落物半饱和时间、吸水速率系数 A 和 B 值存在显著负相关, 与凋落物碳含量和 C/N 比极显著负相关, 与凋落物氮含量极显著正相关 ($P < 0.01$)。综上, 不同次生林类型凋落物持水性存在显著差异, 凋落物持水性与凋落物碳氮量存在显著联系, 该研究为深入探讨森林生态环境效应提供了支撑, 丰富了森林凋落物持水特性的研究理论。

关键词: 森林类型; 凋落物持水性; 半饱和时间; 水亲和力系数; 吸水速率

Seasonal changes of litter water-holding characteristics under different secondary forests in subtropical area

DING Xianqing^{1,2}, CHANG Yue², BAI Jing², XIANG Wenhua¹, HOU Hongbo², PENG Peiqin^{2,*}

1 Faculty of Life Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004

2 College of Environmental Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004

Abstract: In order to understand litter water-holding characteristics in secondary forests under different succession stages, three typically subtropical secondary forests were selected in Dashanchong Forest Park in Hunan Province. New litters were collected in every two months and measured its water holding capacity, water holding rate and water absorption rate by water soaking method. Then, the water holding capacity of litters in different forest types were compared. The relationships were analyzed between water holding capacity and carbon and nitrogen contents in litters. The results showed that: (1) the amounts and composition of litters in the three secondary forests presented unique changes. The amounts of litters in coniferous forest and evergreen broad-leaved forest were the largest from May to September in summer, while amounts of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31470629)

收稿日期: 2019-07-16; 网络出版日期: 2021-02-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pqpeng123@sina.com

litters in deciduous broad-leaved forest were the largest in spring and autumn. (2) The saturated water holding capacity, half saturation time, and water affinity coefficients of litters in three secondary forests exhibited significantly seasonal variation characteristics. The saturated water holding capacity in coniferous forest litters reached a maximum of $(59.68 \pm 2.91) \text{ g/m}^2$ from May to July, and the saturated water holding capacity in evergreen broad-leaved forest reached a maximum in September; the saturated water holding capacity of deciduous broad-leaved forest reached $(190.60 \pm 8.81) \text{ g/m}^2$ in November. The half saturation time of litters in the three secondary forests was the lowest in November, and the half saturation time in deciduous broad-leaved forest litters was lower than that of other two forests types, with an annual average of $(0.62 \pm 0.12) \text{ h}$; the litters' water affinity coefficient was 142.72 ± 26.12 in deciduous broad-leaved forest in the whole year. (3) The saturated water holding rate of litters in the deciduous broad-leaved forest was significantly higher than that in the other types throughout the year ($P < 0.01$). The saturated water holding rate of litters in coniferous forest and deciduous broad-leaved forest reached the maximum in November. (4) The water absorption rate coefficient A of litters in deciduous broad-leaved forest was significantly lower than that in the other types ($P < 0.01$), while the water absorption rate coefficient B in coniferous forest litters was significantly higher than that in the other types ($P < 0.01$). (5) The saturated water holding capacity of litters showed significantly positive correlations with water affinity coefficients, saturated water holding rate, the total amount of carbon and nitrogen in litters. The saturated water holding rate showed significantly negative correlation with half saturation time and water absorption rate coefficient A and B, significantly negative correlations with carbon content and C/N ratio in litters, and significantly positive correlations with nitrogen content in litters ($P < 0.01$). In summary, the water holding capacity of litters in the three secondary forests were significantly different. The water holding capacity was significantly correlated with carbon and nitrogen content in litters. This study enriches the research theory of litter water-holding characteristics and provides a theoretical basis for in-depth discussion of the ecological and environmental effects of forest litters.

Key Words: forest type; water holding capacity; half-saturation time; water affinity coefficient; water absorption rate

森林凋落物在森林生态系统中发挥重要作用。凋落物的生物量、养分特征及分解速率等方面的研究都表明其深刻影响着森林生态系统功能^[1-3]。凋落物不仅能够有效减缓地表水径流,防止雨水对土壤的直接冲刷,还具备很强的持水能力。能够减少水分蒸发,保持森林地表充足的蓄水量,在水源涵养和维持土壤环境稳态方面具有重要作用^[4-6]。凋落物在持水过程中,同时伴随着水溶性有机物等养分的释放过程,是土壤中水溶性有机物的重要来源^[7-10],深刻影响着森林养分循环过程。通过探究森林凋落物及其持水性特征,加强对凋落物的功能认识和原地保护,对提升森林生态功能具有重要意义。

由于气候和地理条件的不同,不同地区不同森林类型的凋落物持水特性差异明显^[5,11-13]。已有研究表明,阔叶林凋落物持水特性表现为更强,而针叶林因凋落物蓄积量更高而具备较高的持水量^[14-17]。森林凋落物的持水性直接影响森林生态系统的水源涵养能力、水土保持功能和养分循环过程。野外条件下,受诸多方面因素的影响,凋落物持水性的分析很难在原位开展。因此,通过采集凋落物带回实验室后进行室内浸水法测定,受到研究者的普遍认同和应用。传统分析方法上,凋落物浸水后某个时间段内的最大质量值来计算凋落物最大持水量或最大持水率,并使用对数或指数函数来拟合持水量和持水率随时间的变化特征^[14,18-19]。这些分析过程,往往无法反映凋落物持水稳定后,实际是达到饱和持水的状态。而本文将采用一级动力学方程来拟合,对于凋落物持水特性的评价将更加准确和全面。

本文通过定量采集亚热带三种次生林地不同月份的凋落物,分析测定凋落物的持水量、持水率和吸水速率等特征。对比分析不同森林类型之间凋落物持水特性的差异,以及凋落物持水特性随季节性变化的规律,对深入探讨凋落物在森林生态系统中发挥的功能具有重要作用。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究地位于湖南省长沙市大山冲森林公园 (113°17′—113°19′E, 28°23′—28°24′N)。园区现存完好的次生林林地类型, 其中包括马尾松 (*Pinus massonana* Lamb.) 针叶林、石栎 (*Lithocarpus glaber*)-青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) 常绿阔叶林和南酸枣 (*Choerospondia axillaris*) 落叶阔叶林等三种典型亚热带次生林类型。该区域海拔高度在 220—350 m, 属于典型亚热带大陆型季风湿润气候, 年均温度 16.7—17.6 ℃, 年降雨量在 1 412—1 559 mm, 雨量充沛, 相对湿度较大。土壤是由板岩和页岩发育而成的红壤, 各次生林类型所在地平均坡度在 22—25°。在三种森林类型林地设置有 1 hm² 的定位观测样地。样地的基本特征见表 1。

表 1 三种次生林地样地信息和植被概况

Table 1 Information and vegetation on three secondary forest plots						
森林类型(主要树种) Forest type (Dominant species)	树种树 Species number	密度 Density/ (棵/hm ²)	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 average tree H/m	海拔 Elevation/m	GPS 位置 Location
针叶林(马尾松 <i>Pinus massonana</i> Lamb.)	19	2492	11.5 (4.0—37.2)	10.0 (0.3—26.5)	220—262	28°24′45.89″ N, 113°17′54.46″ E
常绿阔叶林(石栎-青冈 <i>Lithocarpus glaber-Cyclobalanopsis glauca</i>)	23	1340	12.7 (4.0—37.6)	10.30 (1.5—21.0)	225—254	28°24′45.89″ N, 113°17′54.48″ E
落叶阔叶林(南酸枣 <i>Choerospondia axillaris</i>)	32	1696	8.8 (4.0—53.5)	6.4 (1.4—28.1)	245—321	28°24′7.30″ N, 113°18′46.11″ E

DBH: 树木胸径 diameter at breast height

1.2 样品采集

2015 年 1 月开始, 按 2 月一次采集落在 1 m² 的圆形凋落物收集网袋装置的新近凋落物, 每种次生林 3—4 个重复。将凋落物带回实验室自然风干, 按叶、枝和碎屑等将凋落物进行分类并分别称重。之后, 按组分均匀取一部分的凋落物置于 80℃ 烘箱中烘干至恒重, 测定计算凋落物含水率。再按凋落物组分均匀取样后, 将凋落物粉碎过 100 目网筛, 封口袋保存, 用于测定凋落物碳氮含量。

凋落物的凋落总量计算公式为:

凋落物凋落总量(g/m²) = 凋落物风干总重(g) × (1 - 凋落物含水率(%)) / 凋落物收集网面积(m²)

1.3 测定方法

凋落物持水性测定: 按凋落物组分均匀称取各样方 5.00 g 凋落物装入 200 目腈纶网袋中, 并分别于浸水 0.5、1、2、4、8、12 h 和 20 h 后捞起, 静置沥水至凋落物网袋不再滴水后称重(精确到 0.01g), 每个处理 3 个重复。凋落物的持水量、持水率和吸水速率分别按如下公式计算:

凋落物持水率(g/g) = (凋落物吸水湿重(g) - 凋落物干重(g)) / 凋落物干重(g);

凋落物持水量(g/m²) = 凋落物持水率(g/g) × 凋落物凋落总量(g/m²);

凋落物吸水速率(g/g/h) = 凋落物持水率(g/g) / 吸水时间(h);

凋落物碳氮含量测定: 植物总有机碳采用重铬酸钾容量-外加加热法测定, 植物全氮采用凯氏定氮法消解后, 间断化学分析仪(Easychem plus, 意大利希思迪)测定。

1.4 数据处理

采用 origin 9.0 软件中的一级动力学方程公式对凋落物持水量进行拟合, 具体公式如下:

$$W = (W_{\max} \times [t]) / (T_m + [t]) \tag{1}$$

$$K_a = W_{\max} / T_m \tag{2}$$

其中, W = 凋落物持水量; W_{max} = 凋落物饱和持水量; [t] = 浸泡时间; T_m = 半饱和时间; K_a = 凋落物与水的亲和力系数;

同样,采用一级动力学方程公式对凋落物持水率进行拟合,公式如下:

$$R = (R_{\max} \times [t]) / (T_m + [t]) \quad (3)$$

其中, R =凋落物持水率; R_{\max} =凋落物饱和持水率; $[t]$ =浸泡时间; T_m =半饱和时间,与凋落物持水量的 T_m 值相同;

采用倒数函数公式对凋落物吸水速率进行拟合,具体公式如下:

$$V = 1 / (A + B \times [t]) \quad (4)$$

其中, V =凋落物吸水速率; $[t]$ =浸泡时间; $[t]=0$ 时, $1/A$ 为初始吸水速率,反映凋落物与水的亲和力,与凋落物持水量拟合方程中 K_a 值的意义相近, $1/B$ 反映凋落物的饱和吸水率特征,与凋落物饱和持水率 R_{\max} 值的意义相近;

采用 Excel 2013 和 SPSS 18.0 对数据进行统计分析。采用单因素方差分析对不同森林类型和不同月份的凋落物持水性作显著性差异分析 (Tukey's test, $P<0.05$)。采用 Canoco 4.5 绘制凋落物持水特性与凋落物量和碳氮含量的 RDA 分析图。

2 结果与分析

2.1 三种次生林地凋落物凋落量季节变化特征

三种次生林地凋落物凋落量和组分均表现出特有规律 (图 1)。针叶林凋落物量以夏季 5—9 月最大,该时间段内平均凋落量达到 $(130.1 \pm 8.1) \text{ g/m}^2$ 。其中,马尾松针叶叶片凋落量以 9 月份最大,而树枝树皮以及碎屑等以 5 月份凋落物最大,各月份间凋落量均存在显著性差异 ($P<0.05$)。常绿阔叶林同样以 5—9 月凋落量最大,7 月份略有下降,该时间段内平均凋落量为 $(89.4 \pm 13.5) \text{ g/m}^2$ 。凋落物组分以青冈和石栎叶片等阔叶凋落量为主,5 月份达到最大值,之后缓慢下降。落叶阔叶林凋落物量则主要以春、秋两个季节为主,这两个阶段平均凋落物量为 $(130.4 \pm 17.4) \text{ g/m}^2$,而夏季 7 月份凋落物量最低仅有 $(23.3 \pm 13.5) \text{ g/m}^2$ 。凋落物组分以南酸枣阔叶叶片为主,3 月份碎屑凋落物量显著高于其他月份 ($P<0.01$)。

2.2 3 种次生林地凋落物持水量的季节变化特征

图 2 显示的是,9 月份三种林地凋落物持水量随时间的变化特征。从图中可以看出,针叶林凋落物 0—4

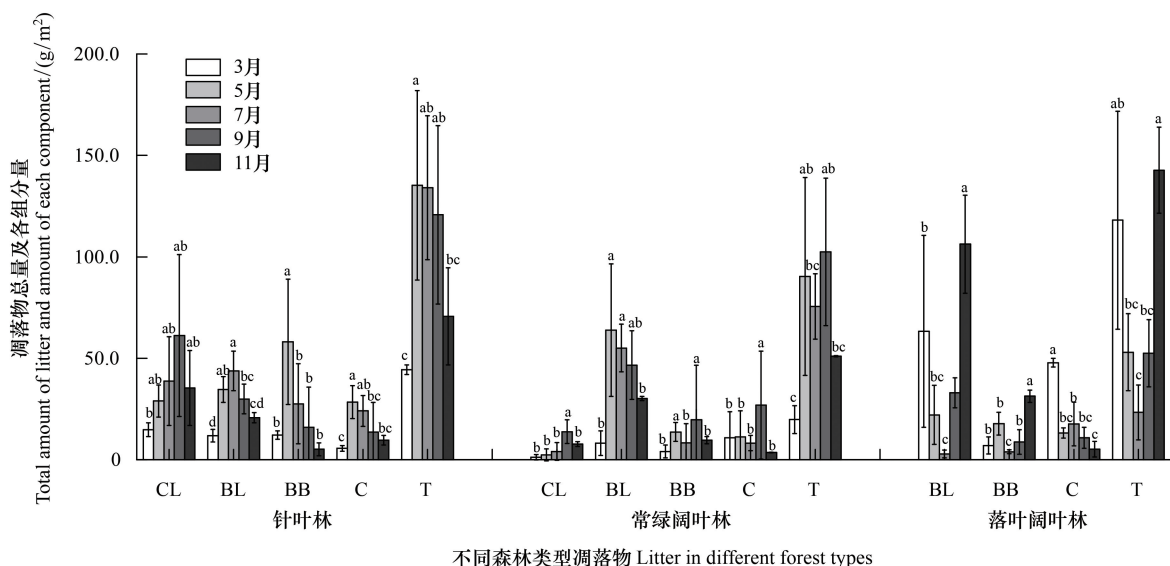


图 1 不同次生林凋落物凋落量的季节动态变化

Fig.1 Annual variation characteristics of litter amount in three forests

CL: 针叶 conifer-leaves; BL: broad-leaves; BB: 树枝和树皮 branches and barks; C: 碎屑 chippings; T: 凋落物总量 total amount of litter; 误差线代表标准差; 小写字母不同, 为同一凋落物组分不同月份间的显著性差异 ($P<0.05$)

h 均在增长,4 h 之后基本呈现饱和持水,饱和持水量显著低于其他两种次生林。9 月份常绿阔叶林凋落物的饱和持水量平均值高于其他两种林分,而落叶阔叶林凋落物达到饱和持水的时间显著低于其他两种次生林,饱和时间低于 2 h。

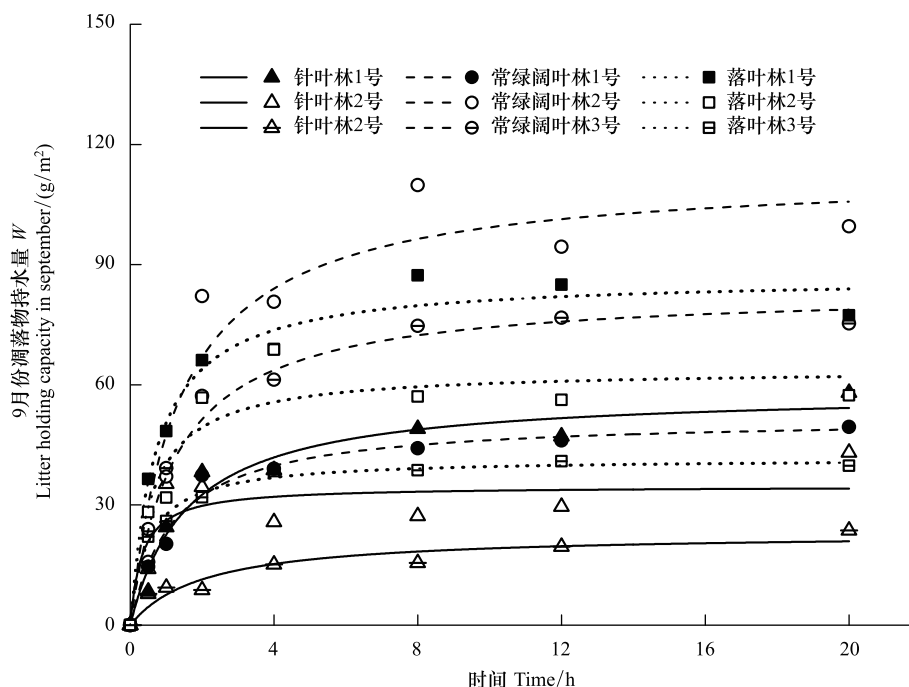


图2 3种次生林地9月份凋落物持水量随时间的变化

Fig.2 Characteristics of litter water holding capacity in three secondary forests in September

3种次生林地凋落物的饱和持水量、半饱和时间以及凋落物与水的亲和力随季节的变化特征见图3。针叶林凋落物饱和持水量在5月—7月达到最高值,平均达到 $(59.68 \pm 2.91) \text{ g/m}^2$,显著高于其他月份($P < 0.05$)。常绿阔叶林凋落物饱和持水量在9月达到最高值,且略高于其他两种林分。落叶阔叶林凋落物饱和持水量在11月份达到最高值,为 $(190.60 \pm 8.81) \text{ g/m}^2$,远高于其他月份及其他林分。全年凋落物饱和持水量以落叶阔叶林最高,显著高于针叶林和常绿阔叶林($P < 0.01$)。

三种次生林凋落物的半饱和时间均以11月份为最低(图3)。3—5月份,常绿阔叶林凋落物半饱和时间高于其他两种林分类型。9—11月份,则以针叶林凋落物半饱和时间为最高。全年,落叶阔叶林凋落物半饱和时间均最低($P < 0.01$),平均 $(0.62 \pm 0.12) \text{ h}$,而针叶林和常绿阔叶林的平均半饱和时间无显著差异。

全年针叶林和常绿阔叶林凋落物的水亲和力系数,均以3月份为最低,分别为 6.75 ± 1.96 和 4.13 ± 1.18 (图3)。3月之后,两种林分凋落物水亲和力系数均有所增加。针叶林凋落物水亲和力在5月份达到最大值,常绿阔叶林水亲和力在9—11月份达到最大 63.72 ± 15.57 。落叶阔叶林凋落物水亲和力系数则呈现先降低后增长的趋势,并于11月达到最大值 406.40 ± 69.88 。三种次生林地,全年凋落物的水亲和力以落叶阔叶林最大,达到 142.72 ± 26.12 。

2.3 三种次生林地凋落物持水率的季节变化特征

9月份,三种次生林凋落物持水率呈现显著性差异(图4)。从图中可以看出,针叶林凋落物持水率随时间的增加变化缓慢,4 h后才达到最大值,所用时间大于其他两种次生林。而落叶阔叶林凋落物持水率增长迅速,达到饱和持水率的时间显著低于其他两种次生林,且饱和持水率显著高于其他两种次生林,平均 $(1.34 \pm 0.06) \text{ g/g}$ 。

三种次生林地凋落物饱和持水率随季节的变化特征见图5。针叶林凋落物饱和持水率不同月份差

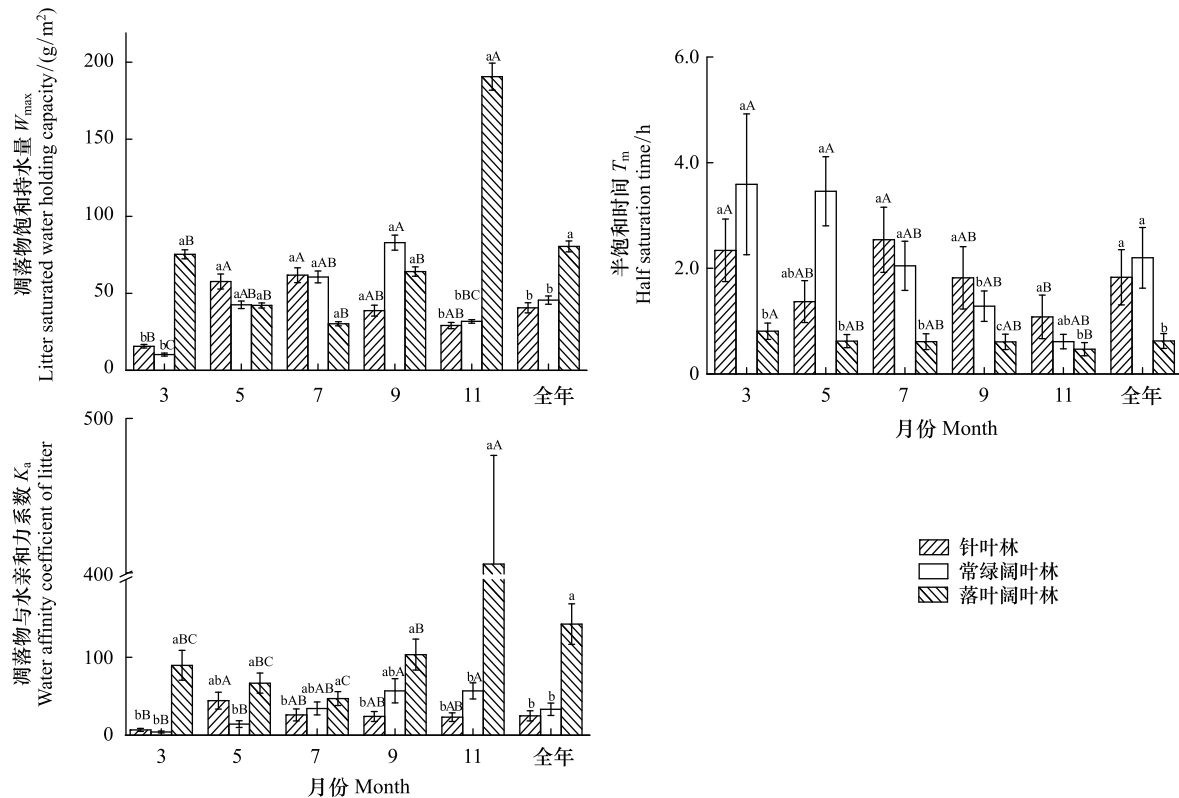


图3 三种次生林地凋落物持水量季节的变化

Fig.3 Annual variation of litter water holding capacity in three secondary forests

图中误差线表示为标准差。小写字母不同,为同一月份不同次生林类型的显著性差异 ($P < 0.05$);大写字母不同,为同一次生林类型不同月份的显著性差异 ($P < 0.05$)

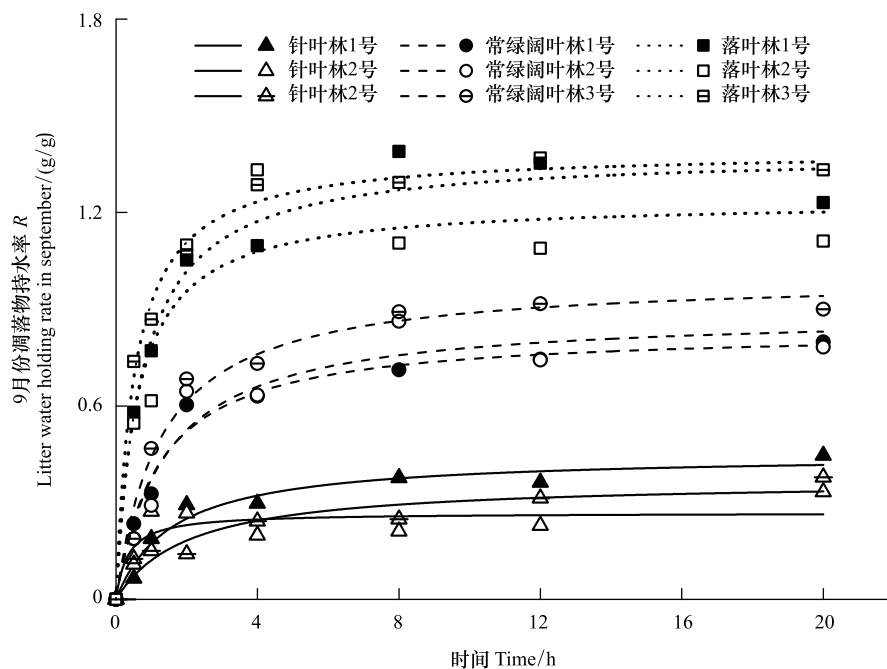


图4 三种次生林地9月份凋落物持水率随时间的变化

Fig.4 Characteristics of litter water holding rate in three secondary forests in September

异显著 ($P < 0.05$), 但全年变化规律不明显, 在 11 月份达到最大值为 $(0.74 \pm 0.04) \text{ g/g}$ 。常绿阔叶林凋落物饱和持水率, 不同月份差异不显著 (图 5 中未标注显著差异性字母), 5—9 月份饱和持水率值略高于其他月份。落叶阔叶林凋落物饱和持水率, 从 3 月开始, 全年呈显著增加趋势, 并于 11 月达到最大值。年平均饱和持水率, 落叶阔叶林显著高于其他两种次生林 ($P < 0.01$)。

2.4 三种次生林地凋落物吸水速率的季节变化特征

9 月份三种次生林地凋落物吸水速率随时间变化的拟合曲线, 见图 6。图中, 针叶林凋落物初始吸水速率和下降趋势均显著低于其他两种次生林。吸水 0.5 h 时, 三种次生林凋落物吸水速率平均值分别为针叶林: $(1.00 \pm 0.31) \text{ g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ < 常绿阔叶林: $(2.04 \pm 0.27) \text{ g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ < 落叶阔叶林: $(6.21 \pm 1.02) \text{ g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 。落叶阔叶林凋落物吸水速率随吸水时间的增长, 呈迅速下降趋势。

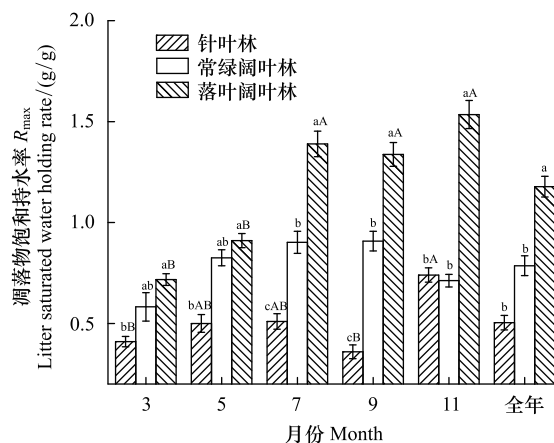


图 5 三种次生林地凋落物持水率季节变化特征

Fig. 5 Annual variation characteristics of litter water holding rate in three secondary forests

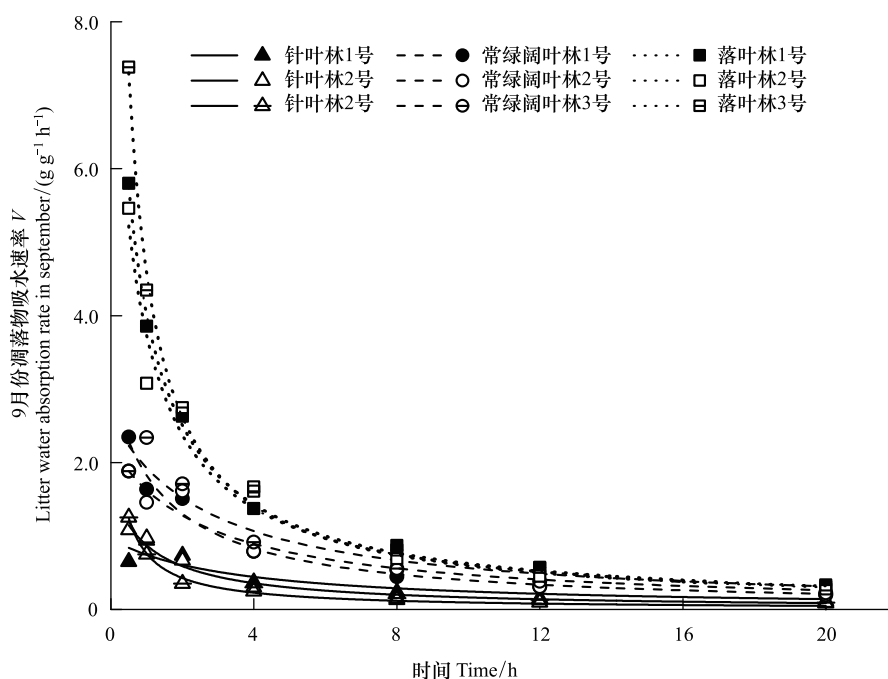


图 6 三种次生林地 9 月份凋落物吸水速率随时间的变化

Fig. 6 Characteristics of litter water absorption rate in three secondary forests in September

三种次生林地凋落物吸水速率表征值随季节季节的变化特征见图 7。凋落物吸水速率拟合系数 A 值, 全年变化均呈显著下降趋势。3 月份, 常绿阔叶林凋落物吸水速率 A 值较其他两种次生林高, 之后迅速下降。到 11 月份时, 针叶林凋落物吸水速率 A 值较其他两种次生林更高。全年, 落叶阔叶林凋落物吸水速率 A 值均显著低于其他两种次生林, 年平均 A 值为 0.14 ± 0.07 ($P < 0.01$)。针叶林和常绿阔叶林次生林地的凋落物吸水速率拟合系数 B 值, 全年变化规律不明显, 而落叶阔叶林凋落物吸水速率 B 值呈下降趋势。全年针叶林凋落物吸水速率系数 B 值为 0.53 ± 0.22 , 显著高于其他两种次生林 ($P < 0.01$)。

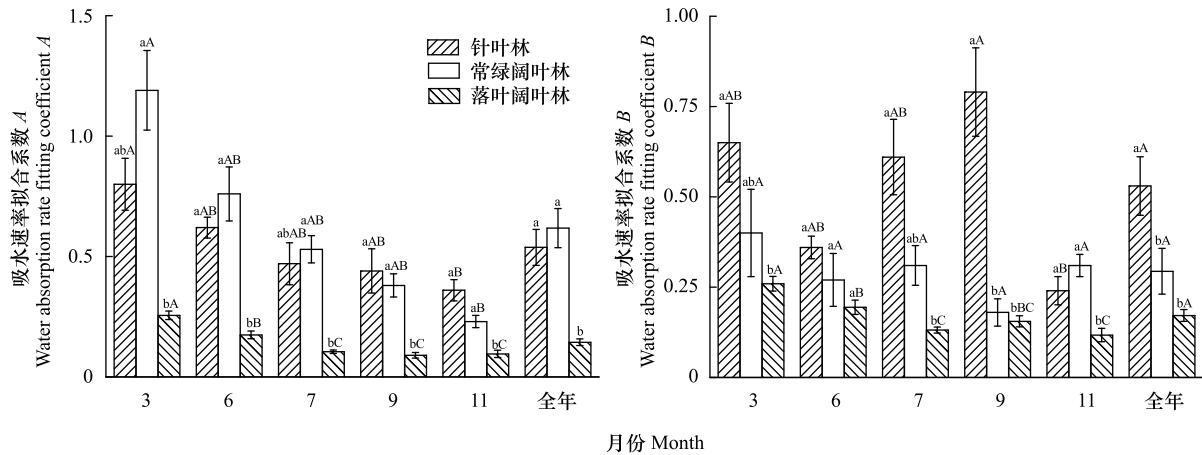


图 7 三种次生林地凋落物吸水速率表征值的季节变化

Fig.7 Annual variation of litter water absorption rate coefficients in three secondary forests

2.5 凋落物持水特性与凋落物碳氮凋落量的关系

凋落物持水特性指标之间及与凋落物凋落量和碳氮含量的相关性分析见表 2。从表中可见,凋落物饱和持水量与凋落物水亲和力和饱和持水率存在显著正相关关系,与凋落物 C、N 凋落总量同样存在显著正相关关系 ($P<0.05$)。凋落物饱和持水率与凋落物半饱和时间、吸水速率系数 A 和 B 值存在显著负相关,与凋落物 C 含量和 C/N 比存在极显著负相关,与凋落物 N 含量存在极显著正相关关系 ($P<0.01$)。凋落物吸水速率系数 B 值与凋落物半饱和时间显著正相关,与凋落物 C 含量和 C/N 比显著正相关,与凋落物 N 含量显著负相关 ($P<0.05$)。

表 2 凋落物持水特性与凋落物碳氮含量的相关性系数

Table 2 Correlation coefficients between litter water holding capacity and amount of litter carbon and nitrogen

	W_{\max}	T_m	K_a	R_{\max}	A	B
W_{\max}	1.000					
T_m	-0.399	1.000				
K_a	0.924 ***	-0.492	1.000			
R_{\max}	0.576 *	-0.538 *	0.669 ***	1.000		
A	-0.464	0.907 ***	-0.500	-0.633 *	1.000	
B	-0.385	0.516 *	-0.437	-0.811 ***	0.491	1.000
T	0.359	0.307	0.247	-0.244	0.364	0.175
LC	-0.417	0.383	-0.423	-0.685 ***	0.612 *	0.533 *
LN	0.059	-0.394	0.150	0.711 ***	-0.455	-0.622 *
C/N	-0.187	0.383	-0.250	-0.771 ***	0.492	0.705 ***
TC	0.602 *	-0.054	0.357	-0.177	-0.129	0.216
TN	0.742 ***	-0.185	0.506	0.054	-0.288	-0.006

* 表示相关系数达到显著水平 (0.05), *** 表示相关系数达到极显著水平 (0.01). W_{\max} : 凋落物饱和持水量 saturated water holding capacity; T_m : 半饱和时间 half saturation time; K_a : 水亲和力 water affinity coefficients; R_{\max} : 饱和持水率 saturated water holding rate; A, B: 吸水速率系数 water absorption rate coefficient; T: 凋落物总量 total amount of litter; LC: 凋落物 C 含量 litter carbon content; LN: 凋落物 N 含量 litter nitrogen content; C/N: 凋落物碳氮比 carbon to nitrogen ratio; TC: 凋落物 C 总量 total amount of litter carbon; TN: 凋落物 N 总量 total amount of litter nitrogen

凋落物持水特性指标与凋落物凋落量和碳氮含量的 RDA 分析见图 8。从图中可以看出,针叶林凋落物受高的凋落物 C 含量 LC、凋落物 C/N 比、以及凋落物半饱和时间 T_m 、吸水速率 A、B 值等影响。落叶阔叶林

受高的凋落物氮含量 LN,以及高的凋落物饱和持水量、饱和持水率和水亲和力等影响。常绿阔叶林凋落物则居中,受影响较弱。

3 讨论

因气候条件和地理位置的不同,不同地区森林生态系统中的凋落物凋落量均存在明显差异。在我国,申广荣等^[2]在全国尺度上统计分析了森林叶凋落量的时空分布,得出中南地区常绿阔叶林的年凋落量最高,东北地区落叶阔叶林则次之。小尺度上,更多研究则表明,针叶林凋落物凋落量和地表蓄积量均高于其他森林类型^[14,16,20]。本研究区域位于亚热带中南地区,随着森林演替阶段的发展,形成了特征明显的不同次生林分布区。因地理位置十分接近,气候条件基本一致,影响凋落物量的差异主要存在于物种组成、植被密度和土壤的不同^[21]。本研究表明,全年针叶林凋落物量高于常绿阔叶林和落叶阔叶林,三种次生林凋落物量和组分随季节变化呈差异明显的变化趋势。凋落物中,叶凋落量变化与凋落总量变化表现一致,这与张远东等^[17]研究相一致。

不同森林类型的凋落物量和组成直接影响凋落物持水量、持水率和吸水速率等持水特性。已有研究表明,阔叶林凋落物往往有更强的持水率和吸水速率等特性,而针叶林因蓄积量更高而具备较高的持水量。全国范围内,华南地区的针叶林凋落物持水量显著高于阔叶林,常绿阔叶林表现出较强持水率特性^[22-25];西南地区落叶阔叶林持水能力,高于针叶林和常绿阔叶林^[16];西北甘肃地区,阔叶林吸水速率高于针叶林^[18],且云杉林凋落物持水性高于松林和落叶松林^[14]。本研究表明,亚热带中南地区落叶阔叶林凋落物饱和持水量显著高于其他两种次生林($P<0.01$)。尽管针叶林凋落量较大,但饱和持水量仍低于常绿阔叶林。凋落物持水率则同样表现为,落叶阔叶林显著高于其他两种次生林($P<0.01$),常绿阔叶林略高于针叶林。

伴随着森林凋落物凋落特征的季节性变化,凋落物持水特性同样发生着显著变化。现有关于凋落物持水特性的研究多集中于采集地表蓄积的凋落物来直接测定,而很少观测新近凋落物持水性的季节性变化。本研究表明,凋落物持水特性随着月份表现出差异。三种次生林凋落物饱和持水量最高值所在月份明显不同,同样,凋落物饱和持水率全年变化规律也有很大差异。针叶林凋落物饱和持水率季节变化不明显,常绿阔叶林凋落物饱和持水率5—9月份略高于其他月份,落叶阔叶林全年呈显著增加趋势(图5)。这一结果表明,凋落物饱和持水量受凋落物凋落总量的影响,同时受森林类型的影响差异更显著。

为进一步评价凋落物持水特性上的差异,本文通过动力学反应方程来拟合凋落物持水量、持水率和吸水速率等随凋落物持水时间变化的特征规律。首次得到,三种次生林地凋落物的饱和持水量、半饱和时间以及与水亲和力系数均呈现显著季节性变化特征。三种次生林凋落物的持水半饱和时间全年均呈下降趋势,且落叶阔叶林凋落物半饱和时间比其他两种次生林地更低,全年平均仅(0.62 ± 0.12) h。凋落物水亲和力系数,针叶林凋落物以5月份为最大,常绿阔叶林凋落物则全年均呈上升趋势,全年均以落叶阔叶林凋落物最大为 142.72 ± 26.12 ($P<0.01$)。这表明,凋落物持水特性因季节性气候变化而发生着显著差异。落叶阔叶林凋落物较常绿阔叶林和针叶林,吸水效率更快,持水性更强,这与其所在森林类型中的植被凋落物外部结构、化学成分和养分组成密切相关。落叶阔叶林凋落物比表面积更大,表面起保护作用的疏水性物质更少,更易持水^[18,20]。三种次生林地凋落物吸水速率拟合系数A值全年变化均呈显著下降趋势,而拟合系数B值全年变

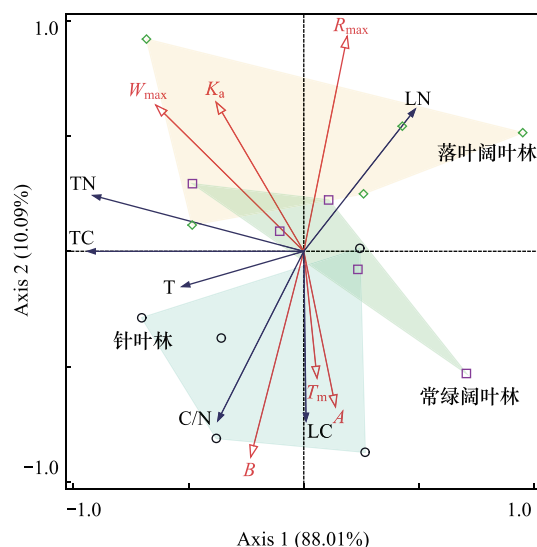


图8 凋落物持水特性与凋落物量和碳氮含量 RDA 分析图

Fig.8 RDA analysis of litter holding water characteristics, litter amount and carbon and nitrogen content

化不明显。落叶阔叶林凋落物吸水速率 A 值显著低于其他两种次生林 ($P < 0.01$), 而针叶林凋落物吸水速率系数 B 值显著高于其他两种次生林 ($P < 0.01$), 进一步表明落叶阔叶林凋落物水亲和力最强, 而针叶林凋落物持水率最低。按作者目前所查阅的已有资料, 尚未有研究提出和涉及过这些理论概念, 本文系首次提出, 因此有待进一步拓展研究和丰富。

相关性分析表明, 这些凋落物持水性评价指标之间, 均存在显著关系, 同时与凋落物量、凋落物 C、N 养分含量存在显著联系。凋落物饱和持水量与凋落物水亲和力、饱和持水率显著正相关, 与凋落物 C、N 凋落总量同样显著正相关 ($P < 0.05$), 表明凋落物量显著影响着凋落物持水量。凋落物饱和持水率与半饱和时间、吸水速率系数 A 和 B 值存在显著负相关, 与凋落物 C 含量和 C/N 比值极显著负相关, 与凋落物 N 含量极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 说明不同森林类型凋落物持水特性和凋落物 C、N 养分含量联系密切, 凋落物的 N 含量越高以及 C/N 比值越低则更易持水, 深层机理有待进一步揭示。针叶林凋落物具备高的半饱和时间和吸水速率 A 、 B 值, 落叶阔叶林具备高的凋落物饱和持水量、饱和持水率和水亲和力。相关研究结果, 丰富了凋落物持水特性的评估和测定。不同森林类型和不同季节时间, 凋落物的持水特性均发生着显著变化, 本研究将有助于深入探讨和评价凋落物和凋落物持水性的森林生态学意义。

4 结论

亚热带三种次生林地凋落物量和组分均表现出特有的季节性变化特征, 同时凋落物的持水特性同样呈现显著季节性变化特征。全年凋落物饱和持水量和饱和持水率均以落叶阔叶林最高, 显著高于针叶林和常绿阔叶林 ($P < 0.01$)。落叶阔叶林凋落物水亲和力系数最大, 而针叶林凋落物半饱和时间、吸水速率 A 值和 B 值最大 ($P < 0.01$)。凋落物饱和持水量与凋落物水亲和力、饱和持水率、凋落物碳氮总量存在正相关关系, 凋落物饱和持水率与凋落物半饱和时间、吸水速率系数 A 和 B 值存在显著负相关, 与凋落物碳含量和 C/N 比值极显著负相关, 与凋落物氮含量极显著正相关 ($P < 0.01$)。相关研究, 丰富了森林凋落物特征和持水特性研究理论。

参考文献 (References):

- [1] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. 生态学报, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [2] 申广荣, 项巧巧, 陈冬梅, 等. 中国森林凋落量时空分布特征. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2452-2460.
- [3] 冷海楠, 张玉, 崔福星, 徐明怡, 王丽媛. 森林凋落物研究进展. 国土与自然资源研究, 2016, 6: 87-89.
- [4] Borchard N, Adolphs T, Beulshausen F, Ladd B, Gießelmann U C, Hegenberg D, Möselers B M, Amelung W. Carbon accrual rates, vegetation and nutrient dynamics in a regularly burned coppice woodland in Germany. GCB Bioenergy, 2017, 9(6): 1140-1150.
- [5] Ilek A, Kucza J, Szostek M. The effect of stand species composition on water storage capacity of the organic layers of forest soils. European Journal of Forest Research, 2015, 134(1): 187-197.
- [6] 龚诗涵, 肖洋, 郑华, 肖焱, 欧阳志云. 中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素. 生态学报, 2017, 37(7): 2455-2462.
- [7] 马芬, 裴广廷, 马红亮, 高人, 尹云峰, 杨柳明. 凋落物中水溶性有机物和残渣对亚热带森林土壤氮素转化的影响. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2761-2770.
- [8] Wang Y Z, Xu Z H, Zheng J Q, Abdullah K A, Zhou Q X. $\delta^{15}\text{N}$ of soil nitrogen pools and their dynamics under decomposing leaf litters in a suburban native forest subject to repeated prescribed burning in southeast Queensland, Australia. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(5): 1063-1074.
- [9] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈光水, 陈银秀, 于占源, 董彬, 刘东霞. 森林生态系统 DOM 的来源、特性及流动. 生态学报, 2002, 23(3): 547-558.
- [10] Gabor R S, Eilers K, McKnight D M, Fierer N, Anderson S P. From the litter layer to the saprolite: chemical changes in water-soluble soil organic matter and their correlation to microbial community composition. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 68: 166-176.
- [11] 郭辉, 董希斌, 蒙宽宏, 范煜婷. 小兴安岭低质林采伐改造后枯落物持水特性变化分析. 林业科学, 2010, 46(6): 146-153.
- [12] 刘尚华, 冯朝阳, 吕世海, 石凤翎. 京西百花山区 6 种植物群落凋落物持水性能研究. 水土保持学报, 2007, 21(6): 179-182.
- [13] 陈玉生, 张卓文, 韩兰, 张志永, 袁玉万, 朱传忠, 崔鸿侠, 陆顺教. 连峡河小流域不同森林类型凋落物持水特性研究. 华中农业大学学报, 2005, 24(2): 207-212.

- [14] 常雅军, 陈琦, 曹靖, 鲁海燕, 王威. 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性. 生态学报, 2011, 31(9): 2392-2400.
- [15] Zhou Q W, Keith D M, Zhou X, Cai M Y, Cui X F, Wei X C, Luo Y X. Comparing the water-holding characteristics of broadleaved, coniferous, and mixed forest litter layers in a karst region. Mountain Research and Development, 2018, 38(3): 220-230.
- [16] 杨玉莲, 马兴艳, 吴庆贵, 张川, 刘涛, 刘群, 赵春霖. 龙门山断裂带主要森林类型凋落物累积量及其持水特性. 水土保持通报, 2014, 34(3): 69-74.
- [17] 张远东, 刘彦春, 顾峰雪, 郭明明, 缪宁, 刘世荣. 川西亚高山五种主要森林类型凋落物组成及动态. 生态学报, 2019, 39(2): 502-508.
- [18] 魏强, 凌雷, 张广忠, 闫沛斌, 陶继新, 柴春山, 薛睿. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2589-2598.
- [19] Zhang Z W, Chen Y S, Zhang Z Y, Cui H X, Lei Y F, Wang D Y, Sui J J. Water-holding characteristics of litter in different forests at the Lianxiahe watershed. Frontiers of Forestry in China, 2006, 1(4): 413-418.
- [20] 伍倩, 闫文德, 梁小翠, 王姣龙, 宁晨, 赵亮生. 亚热带 4 种典型人工林凋落物持水特性. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(12): 76-81, 94-94.
- [21] 郭婧, 喻林华, 方晰, 项文化, 邓湘雯, 路翔. 中亚热带 4 种森林凋落物量、组成、动态及其周转期. 生态学报, 2015, 35(14): 4668-4677.
- [22] 刘飞鹏, 曾曙才, 莫罗坚, 丁雪腾, 朱剑云, 刘颂颂, 李年生. 尾叶桉人工林改造对土壤和凋落物持水效能的影响. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1111-1117.
- [23] 任向荣, 薛立, 曹鹤, 王相娥, 谢腾芳. 3 种人工林凋落物的持水特性. 华南农业大学学报, 2008, 29(3): 47-51.
- [24] 薛立, 何跃君, 屈明, 吴敏, 徐燕. 华南典型人工林凋落物的持水特性. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421.
- [25] 刘效东, 乔玉娜, 周国逸, 肖崑, 张德强. 鼎湖山 3 种不同演替阶段森林凋落物的持水特性. 林业科学, 2013, 49(9): 8-15.